

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**СОКОЛОВА НАТАЛІЯ ПЕТРІВНА**

УДК 620.9.004.18:621.311:656.71 (043.3)

**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ  
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ АЕРОПОРТІВ**

Спеціальність 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Вінниця – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному авіаційному університеті, Міністерство освіти і науки України.

**Науковий керівник:** кандидат технічних наук, доцент  
**Захарченко Віктор Панасович,**  
Національний авіаційний університет, м. Київ,  
завідувач кафедри автоматизації та енергоменеджменту.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Бурбело Михайло Йосипович,**  
Вінницький національний технічний університет,  
завідувач кафедри електротехнічних систем  
електроспоживання та енергетичного менеджменту

кандидат технічних наук, доцент  
**Калінчик Василь Прокопович,**  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»,  
доцент кафедри електропостачання.

Захист відбудеться “11” листопада 2016 р. о 12.30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 05.052.05 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ГНК, ауд. 210.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.

Автореферат розісланий “10” жовтня 2016 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради

В. В. Кулик

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Світові кризові явища, фактичний стан паливно-енергетичного комплексу України та перспективи його подальшого розвитку зумовлюють актуальність розробки та впровадження енергозберігаючих технологій, широкого використання альтернативних джерел енергії, забезпечення надійності електропостачання, що у сукупності, потребує системного комплексного підходу управління процесом виробництва, розподілу та ефективного споживання електричної енергії.

Аналіз стану виробництва, розподілу та споживання електричної енергії електротехнічними комплексами аеропортів вказав на відсутність організаційної системи ефективного та надійного забезпечення цих комплексів електроенергією.

Для підвищення рівня енергоефективності у роботі сформовано цілі та задачі щодо ефективного та надійного забезпечення електротехнічними комплексами електроенергією аеропортів, які мають свої, притаманні тільки їм особливості та визначено стратегію впровадження автоматизованої системи управління споживанням електричної енергії.

Важливим фактором ефективного функціонування аеропорту є якісне електропостачання, особливо це стосується споживачів особливої групи першої категорії, перерва електропостачання яких може стати причиною виникнення аварійної ситуації чи навіть катастрофи.

Отже, підвищення рівня ефективності функціонування електротехнічних комплексів аеропортів, вдосконалення методів нормування та прогнозування енергоефективних режимів електроспоживання, розробка та впровадження адекватної моделі автоматизованої системи управління процесом споживання електричної енергії електротехнічними комплексами аеропортів для забезпечення ефективності споживання електричної енергії та підвищення рівня енергетичної безпеки аеропорту, є **актуальним**.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дана робота відповідає тематиці Транспортної стратегії України на період до 2020 року, Концепції державної цільової програми розвитку аеропортів на період до 2023 року, постанови Кабінету Міністрів України № 243 від 01.03.2010 «Про затвердження Державної цільової економічної програми енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010—2016 роки». Робота виконана на кафедрі автоматизації та енергоменеджменту Навчально-наукового Аерокосмічного інституту Національного авіаційного університету (НАУ) та є складовою частиною науково-дослідних робіт, що виконуються за тематичними планами та фінансуються Міністерством освіти і науки України, а саме: №8/07.01.04 «Сучасні концепції підвищення ефективності електроенергетичних комплексів і процесу їх автоматизації на транспорті», № 92/07.01.05 «Управління динамічними системами та їх станом», №0115U000313 «Автоматизований програмний комплекс для впровадження системи збору та аналізу інформації з енерговикористання об'єктів галузі освіти». Автор брав участь у виконанні держбюджетних науково-дослідних робіт як виконавець.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є підвищення енергоефективності електротехнічних комплексів аеропортів шляхом вдосконалення науково-технічних і організаційних заходів та засобів з урахуванням вимог до якості електроенергії, особливостей експлуатації обладнання та мінімізації економічних витрат.

Для досягнення поставленої мети в роботі розв'язано такі **основні задачі** :

- аналіз сучасного стану ефективності споживання електричної енергії електротехнічними комплексами аеропорту та існуючих підходів щодо оцінки ефективності;

- вдосконалення системи електропостачання для споживачів електричної енергії першої категорії та особливої групи першої категорії аеропортів для підвищення надійності постачання живлення в разі аварії промислової мережі;

- вдосконалення методичних засад оцінювання рівня ефективності електроспоживання електротехнічними комплексами аеропорту, ефективності системи нормування питомих витрат ПЕР аеропортів за критерієм питомого електроспоживання;

- розроблення математичної моделі прогнозування електроспоживання окремими об'єктами електротехнічного комплексу аеропортів з урахуванням взаємозв'язків між впливовими параметрами на обсяги споживання електричної енергії, що дозволить моделювати прогнозування споживання електричної енергії об'єктами аеропорту із врахуванням специфіки їх обладнання;

- розроблення автоматизованої системи управління ефективним споживанням електричної енергії аеропортами та практичні рекомендації її ефективного функціонування.

**Об'єктом дослідження** є процес споживання електричної енергії електротехнічними комплексами аеропортів.

**Предметом дослідження** є методи, заходи і засоби підвищення рівня ефективності споживання електричної енергії електротехнічними комплексами аеропортів.

**Методи дослідження.** У дисертаційній роботі для вирішення визначених задач використано наступні методи дослідження: методи експертних оцінок – для експертного відбору факторів впливу; кластерний аналіз – для нормування аеропортів за критерієм електроспоживання та визначення еталонного аеропорту, методи регресійного аналізу – для отримання математичної моделі прогнозування обсягу споживання електричної енергії електротехнічними комплексами аеропорту; методи теорії нечітких множин – при моделюванні діяльності служби енергоменеджменту для формалізації підтримки прийняття управлінських рішень в організаційних системах; методи структурної оптимізації, теорії автоматичного управління, системного аналізу – при вдосконаленні системи автоматизованого управління ефективним споживанням електричної енергії електротехнічними комплексами аеропортів.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у наступному:

- вперше розроблено систему електропостачання електротехнічних комплексів аеропорту особливої групи першої категорії (світлосигнальної системи посадки повітряних суден), де в якості резервного джерела

використано дизель-генератор з накопичувачем кінетичної енергії з зовнішнім ротором у вигляді двох феромагнітних циліндрів з обмотками у вигляді стрижнів, та системи керування «безконтактний синхронний генератор – тиристорний регулятор напруги», яка адаптована до аеропорту, що дозволить збільшити запас кінетичної енергії і підвищити час віддачі електричної енергії без запуску дизеля, безперебійно підключитись, зменшити час перехідного процесу та забезпечити мінімальну статичну похибку при впливі навантаження на систему регулювання у разі відмови основного джерела;

- отримав подальший розвиток метод нормування питомих витрат електричної енергії завдяки використанню поділу на кластери за питомим електроспоживанням, визначенню еталонного аеропорту, поділу на технологічні зони, що забезпечує, на відміну від існуючих методів, визначення показників енергоефективності для окремих кластерів аеропортів та типових зон електротехнічних комплексів і дозволяє визначитись з першочерговим впровадженням енергозберігаючих заходів в межах окремого кластеру;

- удосконалено систему автоматизованого управління ефективним споживанням електричної енергії електротехнічними комплексами аеропортів, яка ґрунтується на методах структурної оптимізації з пропозицією створення служби енергетичного менеджменту з використання методів теорії нечітких множин для формалізації підтримки прийняття управлінських рішень, що дозволяє, на підставі визначених інформаційних та управлінських зв'язків, зменшити обсяги споживання електричної енергії аеропортами на 5 %, удосконалити управління ефективним споживанням електричної енергії з метою мінімізації витрат та підвищення рівня енергетичної безпеки.

#### **Практичне значення одержаних результатів:**

- розроблена конструкція динамічного безперервного джерела живлення, в якій на відміну від існуючих розроблено зовнішній ротор у вигляді двох феромагнітних циліндрів з обмотками у вигляді стрижнів, що дозволяє збільшити запас кінетичної енергії, підвищити час віддачі електричної енергії мережі без запуску дизеля;

- розроблено методики та алгоритми оцінювання ефективності споживання електричної енергії електротехнічними комплексами аеропорту та моделі прогнозування обсягу споживання електричної енергії на прикладі споживачів першої особливої категорії, які забезпечують можливість врахування впливу технічних показників на електроспоживання, що дозволить підвищити рівень ефективності споживання електричної енергії регулюванням режимів роботи обладнання та надасть можливість обґрунтувати пропозиції щодо його удосконалення, або заміни обладнання та отримати можливі межі витрат електричної енергії на майбутній період;

- розроблений комплекс практичних рекомендацій щодо управління ефективним споживанням електричної енергії аеропортами.

Методичні засади оцінювання рівня ефективного електроспоживання доведені до стадії практичного використання та становлять основу планування та моніторингу режиму електроспоживання електротехнічними комплексами аеропорту. За результатами досліджень отримано патент на корисну модель

№ 94252. Аварійний генератний агрегат. МПК НО2К 16/00; Заявл. 16.04.2014; Опубл. 10.11.2014.; Бюл. № 21, Україна.

Розроблені підходи та процедури впроваджені в проектах систем планування та моніторингу режиму електроспоживання КП «МА «Київ (Жуляни)» (акт впровадження від 07.04.2016 р.), зокрема, підходи щодо нормування питомих витрат електричної енергії для різних кластерів та технологічних зон аеропорту, процедура прогнозування електроспоживання електротехнічними комплексами, що враховує технологічні параметри підприємства та можливості впровадження модернізованих систем електропостачання електротехнічних комплексів аеропорту особливої групи першої категорії.

Результати дисертаційної роботи використано в навчальному процесі Національного авіаційного університету під час проведення лекційних та лабораторних занять студентам напряму підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» з дисципліни «Інтегроване ресурсне планування в енергетиці», «Правове забезпечення енерговикористання та енергетичний контроль» та під час проведення навчальних курсів підвищення кваліфікації «Енергоефективність» (довідка про впровадження від 31.03.2016 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Усі результати, які складають основний зміст дисертаційної роботи, отримані автором самостійно. В роботах опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать: у [1, 2, 11] – аналіз стану енергозбереження в цивільній авіації; у [10, 18] – аналіз стану нормування питомих витрат електричної енергії в цивільній авіації; у [12, 13] – кластеризація аеропортів за критерієм електроспоживання; у [3, 9] вдосконалення системи нормування питомих витрат енергоресурсів в цивільній авіації; у [5, 15] – розроблення моделі прогнозування обсягу споживання електричної енергії електротехнічними комплексами аеропортів; у [4] – розроблення моделі прогнозування обсягу споживання електричної енергії аеровокзальним комплексом аеропортів; у [8, 19] – розроблення замкненої схеми управління ефективним споживанням електричної енергії аеропортами; у [14, 16] – розроблення енергозберігаючих заходів аеропортам; у [7, 17] – особливості впровадження служби енергетичного менеджменту в аеропортах; у [6, 20] – розроблення системної моделі управління ефективним споживання електричної енергії аеропортів; у [21] – розроблення моделі аварійного генераторного агрегату.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи та її результати доповідались, обговорювались та були схвалені на міжнародних науково-технічних конференціях: VIII Міжнародній науковій конференції студентів та молодих учених «ПОЛІТ»(м. Київ, 2008); на V–VI, VIII Міжнародних науково – практичних конференціях «Енергетична безпека та енергозбереження в транспорті: технології та інвестиції» (м. Одеса, 2008, 2010, 2014 рр.); на XIX Всесвітньому конгресі «Авіація у XXI столітті» (м. Київ, 2009 р.).

**Публікації.** Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 21 наукові праці, серед яких 6 статей у наукових фахових виданнях, 2 статті у

виданнях, занесених до міжнародних наукометричних баз даних, 2 – статті у інших виданнях, 10 статей у збірниках матеріалів міжнародних конференцій, 1 патент на корисну модель.

**Обсяг і структура дисертації.** Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (145 найменувань) і 8 додатків. Основний зміст викладений на 150 сторінках друкованого тексту, містить 40 рисунків та 14 таблиць. Загальний обсяг дисертації – 215 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми роботи, сформульовано мету, задачі, об'єкт та предмет досліджень, показано наукову новизну та практичне значення отриманих у науковій роботі результатів, вказано особистий внесок здобувача, наведено дані про впровадження результатів роботи, їх апробацію та висвітлення наукових досліджень у фахових друкованих виданнях.

**У першому розділі «Аналіз підходів оцінювання енергоефективності електротехнічних комплексів аеропорту»** проведено аналіз стану ефективності споживання електричної енергії аеропортами, визначено головні фактори, які впливають на ефективне електроспоживання електротехнічними комплексами аеропортів: обладнання для обслуговування пасажирських та вантажних перевезень, обслуговування рейсів, схеми його підключення до джерела живлення та метеорологічні умови.

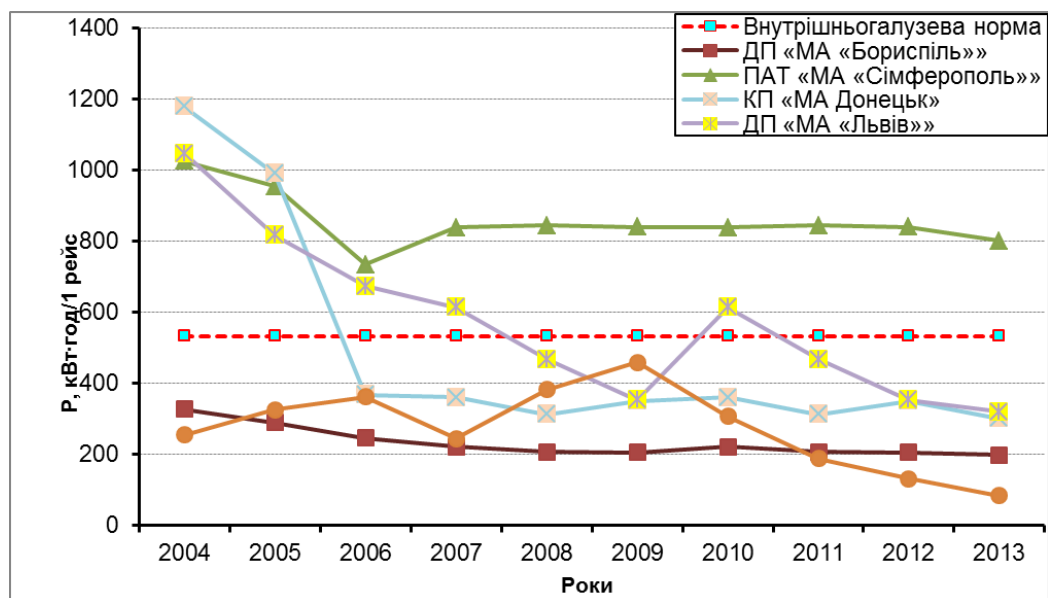


Рисунок 1 – Питомі витрати електроенергії на обслуговування 1 рейсу

Проведено аналіз підходів щодо оцінювання рівня ефективності використання енергетичних ресурсів на підприємствах, в т.ч. аеропортах, що дозволило визначити та обґрунтувати напрямки подальшого наукового дослідження.

На основі статистичних даних електроспоживання електротехнічними комплексами аеропортів було проведено порівняльний аналіз фактичних значень питомих витрат електричної енергії на основні види діяльності аеропортів (рис. 1).

На прикладі, значень питомих витрат електричної енергії на обслуговування 1 рейсу – очевидно, що фактичні значення суттєво відрізняються від внутрішньогалузевих, це дозволяє стверджувати, що величина внутрішньогалузевої норми, є застарілою і потребує перегляду. Підвищення рівня надійності та ефективності споживання електричної енергії електротехнічними комплексами аеропортів вимагає створення відповідного організаційно-економічного механізму енергозбереження з впровадженням енергозберігаючих заходів із врахуванням вимог енергетичної безпеки аеропорту.

У другому розділі «Вдосконалення основних характеристик системи електропостачання електротехнічних комплексів аеропорту» було запропоновано комплекс заходів щодо вдосконалення структури системи електропостачання, а саме прогнозування стану системи електропостачання споживачів особливої групи першої категорії, визначення параметрів системи «безконтактний синхронний генератор - тиристорний регулятор напруги (БСГ-ТРН)» для вчасного та миттєвого переходу живлення з основного джерела (при його відмові) на резервне (аварійне) та розроблення методу управління резервним джерелом енергії для споживачів особливої групи першої категорії.

Запропоновано використання дизель-генератора з накопичувачем кінетичної енергії з зовнішнім ротором (рис. 2).

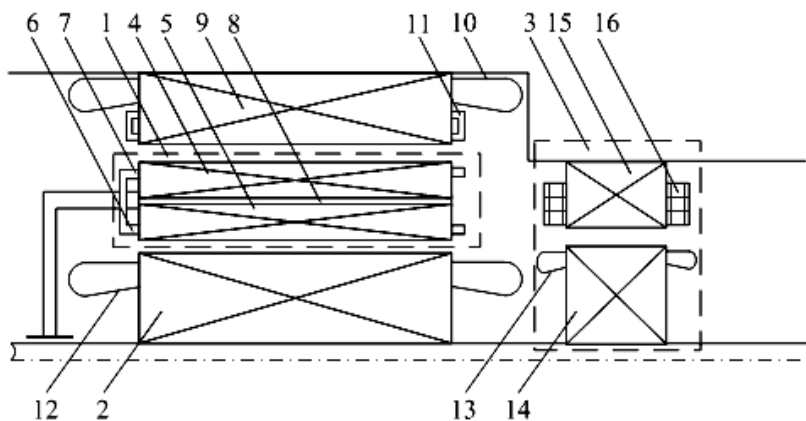


Рисунок 2 – Конструктивна схема накопичувача електричної енергії

- 1 – зовнішній ротор;
- 2 – внутрішній ротор;
- 3 – машина живлення;
- 4, 5 – циліндри з феромагнітного матеріалу;
- 6, 7 – короткозамкнуті обмотки;
- 8 – порожнистий циліндр з немагнітного сплаву;
- 9 – статор;
- 10 – трифазна обмотка;
- 11 – тороїдальна обмотка;
- 12, 13 – багатофазні обмотки;
- 14 – ротор;
- 15, 16 – відповідно статор і обмотка збудження.

Джерелом електричної енергії в аварійному режимі є статор з феромагнітного матеріалу з магнітним шунтом, який має трифазну обмотку з числом пар полюсів рівним одиниці і обмотку підмагнічування, приєднану до блока регулювання.

У зв'язку з новою конструкцією накопичувача кінетичної енергії отримані рівняння:



$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 R_1 + j\dot{I}_1 X_1,$$

$$\dot{E}_{22}' = \dot{I}_2' R_2' + j\dot{I}_2' X_{22}' + \dot{I}_2' R_2' \frac{1+\bar{s}}{\bar{s} + 2 \cdot n_{\text{від}}} - j\dot{I}_2' X_{22}' \frac{n_{\text{від}}}{\bar{s} + 2 \cdot n_{\text{від}}},$$

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2.$$

Аналіз вказав, що при різних співвідношеннях швидкостей  $n_l$  і  $n_{\text{вн}}$  складова  $-j\dot{I}_2' X_{22}' \frac{n_{\text{від}}}{\bar{s} + 2 \cdot n_{\text{від}}}$  в рівнянні для кола ротора від'ємна, що дозволяє в схемі заміщення додати конденсатор змінної ємності (рис. 3).

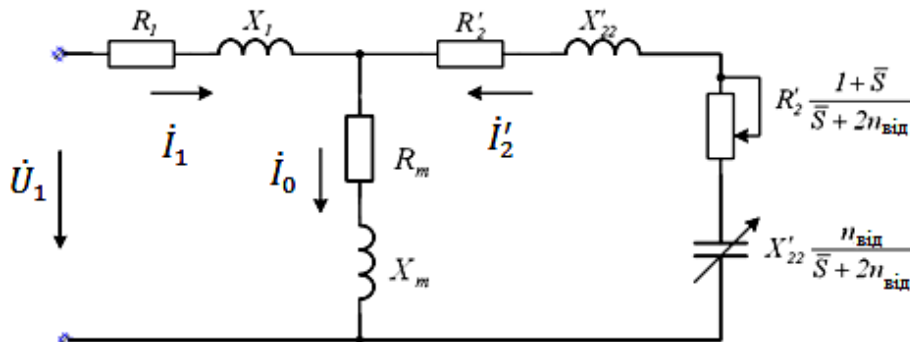


Рисунок 3 – Схема заміщення накопичувача енергії

Кінетична енергія зовнішнього ротора умовно представлена енергією, що виділяється на активному опорі:

$$R_2 \cdot \frac{1+\bar{S}}{\bar{S} + 2 \cdot n_{\text{від}}}$$

Значення виділеної енергії залежить від співвідношення швидкостей  $n_l$  і  $n_{\text{вн}}$ .

Запропонована конструкція сприятиме надійності постачання живлення для споживачів особливої групи першої категорії в разі аварії промислової мережі; забезпечить більший час підтримки стабільної частоти обертання генератора в режимі перетворення кінетичної енергії в електричну при аварії в електромережі; в нормальних режимах роботи забезпечує компенсацію реактивної потужності та виконує функцію підтримки параметрів електричної мережі.

Управління живленням електротехнічного комплексу аеропорту першої особливої категорії (світлосигнальна система посадки повітряних суден (ПС)) розглядається для системи «безконтактний синхронний генератор – тиристорний регулятор напруги» на прикладі системи резервного електропостачання.

Для проведення математичного моделювання системи «безконтактний синхронний генератор – тиристорний регулятор напруги» було визначено параметри елементів, розроблено принципову схему системи автоматичного регулювання (САР) напруги «БСГ–ТРН», визначено функціонально – необхідні елементи (ФНЕ): об'єкт управління – безконтактний трифазний синхронний генератор (Г), вимірювально-перетворювальний елемент – тиристорний регулятор напруги (ТРН), виконавчий елемент – (ОЗЗ + З) і трифазний випрямляч, регулюючий орган – обмотка збудження генератора (ОЗГ), зовнішній вплив – навантаження ( $z_{\text{н}}$ ). На основі визначених необхідних елементів складено структурно–ланкову схему «БСГ–ТРН» (рис. 4).

Враховуючи те, що досліджувана система є системою стабілізації, а не відслідковуючою системою – було обрано пропорційний закон управління:

$$\delta = \kappa_p \cdot E_3.$$

де  $\kappa_p$  – коефіцієнт пропорційності регулятора, який забезпечує мінімальний час тривалості перехідного процесу при обмеженнях по перерегулюванню для забезпечення низької динамічної помилки;  $E_3$  – значення фазної ЕРС збудника.

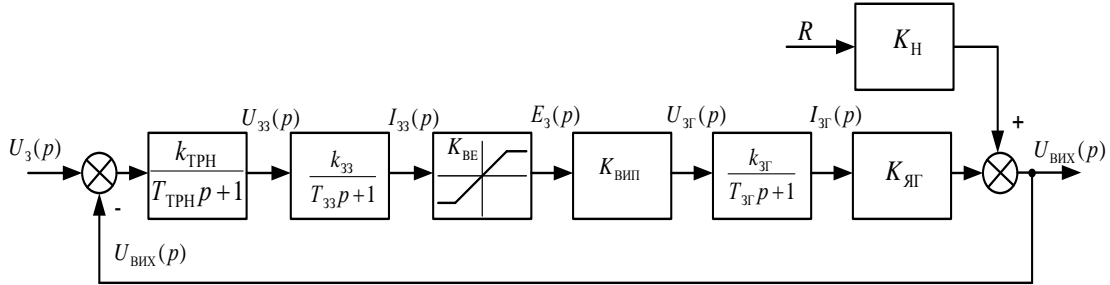


Рисунок 4 – Структурно-ланкова схема системи автоматичного регулювання «безконтактний синхронний генератор – тиристорний регулятор напруги»

На рис. 4 зображено наступні умовні позначення:  $\kappa_{вин}$  – коефіцієнт пропорційності випрямляча;  $\kappa_{яг}$  – коефіцієнт пропорційності ланцюга якоря генератора;  $\kappa_{ве}$  – еквівалентний коефіцієнт підсилення нелінійної характеристики збудника при холостому ході для обраного режиму стабілізації;  $\kappa_n$  – коефіцієнт пропорційності в ланцюзі навантаження (трансформатор струму);  $T_{ТРН}$  – постійна часу ТРН;  $k_{ТРН}$  – коефіцієнт підсилення ТРН;  $U_{зз}$  – напруга збудження збудника;  $U_3(p)$  – задане значення напруги;  $k_{зз}$  – коефіцієнт підсилення обмотки збудження збудника,  $T_{зз}$  – постійна часу обмотки збудження збудника;  $k_{зг}$  – коефіцієнт підсилення обмотки збудження генератора;  $T_{зг}$  – постійна часу обмотки збудження генератора.

Визначено передавальні функції (ПФ) окремих елементів системи:

$$- \text{ПФ ТРН: } W_{ТРН}(p) = \frac{U_{зз}(p)}{U_{вих}(p)} = \frac{k_{ТРН}}{T_{ТРН}p + 1};$$

$$- \text{ПФ кола обмотки збудження збудника: } W_{зз}(s) = \frac{k_{зз}}{T_{зз}s + 1}$$

$$- \text{ПФ кола обмотки збудження генератора: } W_{зг}(s) = \frac{k_{зг}}{T_{зг}s + 1}$$

Для моделювання вводимо наступні позначення:  $k_{ТРН} = k_1, T_{ТРН} = T_1$ ;  $k_{зз} = k_2, T_{зз} = T_2$ ;  $k_{зг} = k_3, T_{зг} = T_3$ .  $K_{ВИП} = k_4$  – коефіцієнт пропорційності випрямляча,  $K_{ЯГ} = k_5$  – коефіцієнт пропорційності ланцюга якоря генератора,  $K_{ВЕ} = k_6$  – еквівалентний коефіцієнт підсилення нелінійної характеристики збудника на холостому ходу для оберненого режиму стабілізації,  $K_n = k_7$  – коефіцієнт пропорційності в ланцюзі навантаження.

Передавальна функція для розімкнутого контуру управління виражається у вигляді:

$$W(s) = \frac{k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 k_6}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)(T_3 s + 1)}.$$

Введемо позначення:  $k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 k_6 = K$ ,

то 
$$W(s) = \frac{K}{T_1 T_2 T_3 s^3 + (T_1 T_2 + T_1 T_3 + T_2 T_3) s^2 + (T_1 + T_2 + T_3) s + 1}.$$

Отримано вираз для передавальної функції замкнутої системи за навантаженням  $R$  виражається у вигляді:

$$\Phi_R^U(s) = \frac{U_{\text{вих}}(s)}{R(s)} = \frac{K_H \cdot Q(s)}{Q(s) + K} = \frac{K_H (T_1 s + 1)(T_2 s + 1)(T_3 s + 1)}{\Delta(s)},$$

де  $\Delta s = 1 + W(s) = Q(s) + K$  – характеристичний поліном.

Якщо врахувати, що  $K = K_p K_r$ , де  $K_p = k_1 k_2 k_4 k_6 = \text{var}$ ,  $K_r = k_3 k_5 = \text{const}$ , то чим більше  $K_p$ , тим точніше робота системи в сталому режимі, але при цьому зменшується запас стійкості, тобто погіршуються динамічні властивості.

Для отримання оптимального розв'язання системи необхідно було визначити параметри:  $T_1, T_2, k_p = k_1 k_2 k_4 k_6$  відповідно постійні часу ТРН та обмотки збудження збудника та коефіцієнти ТРН.

Для оцінки динамічних властивостей системи та порівняльного аналізу було проведено імітаційне моделювання в системі Матлаб. За визначеними параметрами було досягнуто зменшення тривалості перехідного процесу регулювання вихідної напруги в допустимих межах майже у 7 разів (з 35 с до 5,5 с) із забезпеченням мінімальної статичної помилки при впливі навантаження на систему регулювання напруги. На практиці це може бути досягнуто шляхом вибору параметрів тиристорного регулятора напруги. Таким чином, проведений аналіз системи БСГ з ТРН дозволив визначити необхідні параметри елементів системи, що дозволить зменшити час перехідного процесу та забезпечити мінімальну статичну помилку при впливі навантаження на систему регулювання напруги.

Вдосконалення системи електропостачання, а саме надійне та безперебійне електропостачання аеропорту для споживачів всіх категорій в т.ч. особливої групи першої категорії, сприятиме підвищенню рівня енергетичної безпеки в т.ч. безпеки авіації.

У третьому розділі «Методи підвищення енергоефективності електротехнічних комплексів аеропорту» вдосконалено методичні засади оцінювання рівня ефективності електроспоживання електротехнічними комплексами аеропорту за критерієм питомого електроспоживання; розроблено математичну модель прогнозування електроспоживання окремими об'єктами електротехнічного комплексу аеропортів з урахуванням взаємозв'язків між впливовими параметрами на обсяги споживання електричної енергії.

Класифікація аеропортів за їх технічними показниками (обсяги споживання електроенергії, загальні характеристики (площа території, середньомісячна температура, характеристики злітно-посадкової смуги (ЗПС) (довжина та кількість), обсяги авіаперевезень пасажирів, вантажу тощо) дозволяє виділити однорідні кластери аеропортів, для яких можливо запропонувати

індивідуальний підхід по визначенню норм питомого електроспоживання для кожного окремого класу з урахуванням факторів впливу на споживання електроенергії. Для визначення однорідних кластерів аеропортів було використано метод кластерного аналізу. В якості міри схожості було застосовано міру зваженості - евклідову відстань:

$$\rho_{ij}(u_i, u_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^m \omega_k (x_i^{(k)} - x_j^{(k)})^2},$$

де  $m$  – кількість ознак, за якими проводиться класифікація об'єктів;  $\omega_k$  – ваговий коефіцієнт  $k$ -ої ознаки.

Відстань між групами об'єктів обчислюється як відстань між центрами найближчих об'єктів цих груп:

$$\tilde{\rho}(S_i, S_j) = \min(\rho_{ij}(u_k, u_l)), u_k \in S_i, u_l \in S_j,$$

де  $S_i$  –  $i$ -та група об'єктів.

Центри груп визначаються згідно з виразом:

$$x_{ij}^{(k)} = \frac{\sum_{j=1}^{N_j} x_j^{(k)}}{N_j},$$

де  $N_j$  – кількість об'єктів  $j$ -ої групи.

Результати кластерного аналізу аеропортів України: кластер 1 – (ДП МА «Бориспіль»); кластер 2 – МА «Київ» (Жуляни); кластер 3 – ВАТ АК «Дніпроавіа», ДП МА «Львів», МА «Сімферополь»; кластер 4 – (КП МА «Донецьк», МА «Харків».

Отримані однорідні класи є основою для розроблення норм питомих витрат ПЕР для кожного класу. В процесі зміни вихідних даних, аеропорти можуть переходити з групи в групу. Для розроблення норм питомих витрат для кластерів аеропортів України, на основі таксонометричного методу визначено еталонні аеропорти. Таксонометричний метод передбачає отримання показника еталону на основі різноманітних показників. В якості даних використані статистичні дані аеропортів. За результати оцінювання – перевага надана аеропорту ДП «МА «Львів».

З метою підвищення рівня функціонування системи управління електроспоживання аеропортів пропонується, на прикладі ЗПС: віднести ЗПС до переліку запропонованих об'єктів нормування споживання ПЕР; застосувати метод зонування для ЗПС. Відповідно до схем розташування вогнів ЗПС вогні світлосигнального обладнання розміщені нерівномірно, тому смугу можна умовно розділити на зони: зона А (зона наближення); зона В (вхідна зона (900 м)); зона С (середня зона); зона D (вихідна зона (900 м)). Контроль ефективності використання електроенергії ЗПС запропоновано здійснювати порівнянням фактичних питомих витрат електричної енергії кожної із зон ЗПС аеропортів з однаковими категоріями між собою та з ЗПС, де використано сучасні енергоефективні технології. Питомі витрати електричної енергії для кожної із зон ЗПС аеропорту визначаємо розрахунково-статистичним методом:

$$w_{\text{пит}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot n_i}{l \cdot 1000},$$

де  $w_{\text{пит}}$  – питоме споживання електричної енергії зони ЗПС,  $P_i$  – споживана потужність кожного з типів ССО,  $n_i$  – кількість ламп певного типу,  $l$  – довжина зони ЗПС.

Запровадження зонування ЗПС дозволить: визначити найбільш енергоспоживану зону щодо застосування енергозберігаючих заходів; проводити порівняльний аналіз кожної із зон як для ЗПС однієї категорії аеропортів України так і з «ідеальною» ЗПС з метою контролю раціонального споживання електроенергії аеропортів; ефективно здійснювати економічний аналіз при модернізації існуючої ЗПС або будівництва нової.

В роботі пропонується провести прогнозування споживання електричної енергії для аеродрому, використовуючи методи прогнозування із врахуванням специфіки його обладнання.

Розроблено та апробовано математичну модель прогнозування обсягу споживання електричної енергії ЗПС. Факторами впливу на обсяги споживання визначено кількість рейсів, коефіцієнт якості світлосигнального обладнання (ССО), коефіцієнт режиму застосування ССО. Для отримання загальної лінійної багатофакторної прогнозної моделі був використаний класичний метод найменших квадратів.

Загальний вид багатофакторної лінійної регресійної моделі:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_mx_m + u,$$

де  $y$  – обсяг споживання електричної енергії світлосигнальним обладнанням;  $x_1$  – кількість рейсів;  $x_2$  – коефіцієнт якості ССО;  $x_3$  – коефіцієнт режиму застосування ССО;  $a_0, a_1, a_2, a_3, \dots, a_m$  – параметри моделі;  $a = (X^T X)^{-1} (X^T y)$ , де  $a$  – вектор параметрів,  $a = (a_0, a_1, a_2, \dots, a_m)^T$ ;  $X^T$  – транспонована матриця  $X$ ;  $(X^T X)^{-1}$  – обернена матриця;  $u$  – випадкова складова регресійного рівняння.

Для визначення коефіцієнтів моделі були використані оброблені статистичні дані за період 2002-2012 рр. (табл. 1)

Таблиця 1

**Статистичні дані електроспоживання аеропорту Київ (Жуляни)  
за період 2002–2012 рр.**

Фактор/ рік	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
W, МВт·год	146,9	169,9	205,5	145,2	164,0	165,0	198,3	182,8	255,2	280,3	383,1

Під час статистичного аналізу та побудові емпіричної моделі процесу електроспоживання – здійснюється повномасштабна статистична обробка даних.

Було отримано математичну модель прогнозування обсягу споживання електричної енергії світлосигнального обладнання аеропорту Київ (Жуляни), яка має наступний вигляд):  $y = 195228,8 + 7,87x_1 - 90,95x_2 + 13,23x_3$ ,

Для перевірки адекватності отриманої моделі було:

– обчислено коефіцієнт детермінації для перевірки загального впливу незалежних змінних на залежну змінну:  $R^2 = 0,95$ , тому є можливість існування тісного лінійного зв'язку усіх незалежних факторів  $x_1, x_2, x_3$  із залежною змінною  $y$ ;

– здійснено перевірку статистичної значущості отриманих результатів. Для перевірки нульової гіпотези:  $H_0: a_1 = a_2 = \dots = a_n = 0$ , було обчислено  $F$ -статистику:

$$F_{\text{експ.}} = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{n - m - 1}{m}; \quad F_{\text{експ.}} = 49,4.$$

При коефіцієнті надійності  $\alpha = 0,05$  за табличними значеннями  $F$ -статистики  $F_{\text{табл.}}(2, 8, 0.05) = 19,4$ . Оскільки  $F_{\text{експ.}} > F_{\text{табл.}}$ , то нульова гіпотеза відхилялась, тобто коефіцієнти регресії були прийняті значущими.

– проведено тестування наявності мультиколінеарності, гетероскедастичності (параметричний тест Гольдфенльда-Квандта) та автокореляції ( $d$ -тест Дарбіна-Уотсона). В результаті виявилось, що мультиколінеарність та гетероскедастичність відсутні.

Отримані результати вказують на адекватність отриманої моделі.

В результаті обчислень було отримано межі довірчого інтервалу обсягу споживання електричної енергії на майбутній період. Результати прогнозування обсягу споживання електричної енергії на період 2014-2017 рр. світлосигнального обладнання аеропорту «МА Київ (Жуляни)» представлені в табл. 2.

Таблиця 2

**Результати прогнозування електроспоживання світлосигнальним обладнанням аеропорту КП «МА «Київ» (Жуляни)**

роки	2013	2014	2015	2016	2017
верхня межа	677,4	692,33	723,98	744,41	782,2
точковий прогноз	420,4	441,67	474,58	497,19	532,6
нижня межа	163,41	148,48	116,82	96,4	58,61

За отриманими результатами значень побудовані графіки (рис. 5.)

Отримані дані можливих меж витрат електричної енергії ССО дозволяють сформулювати пропозиції щодо зміни аеропортових зборів, в яких враховуються витрати на користування ССО (збори за зліт-посадку, відокремлені збори за використання ССО); розробляти комплекс

енергозберігаючих заходів для систем ССО; упорядковувати інформацію, виявляти в динаміці і наочно представляти об'єкти з аномальним електроспоживанням, ефективно здійснювати прогнозування електроспоживання окремими об'єктами та всього комплексу в цілому.

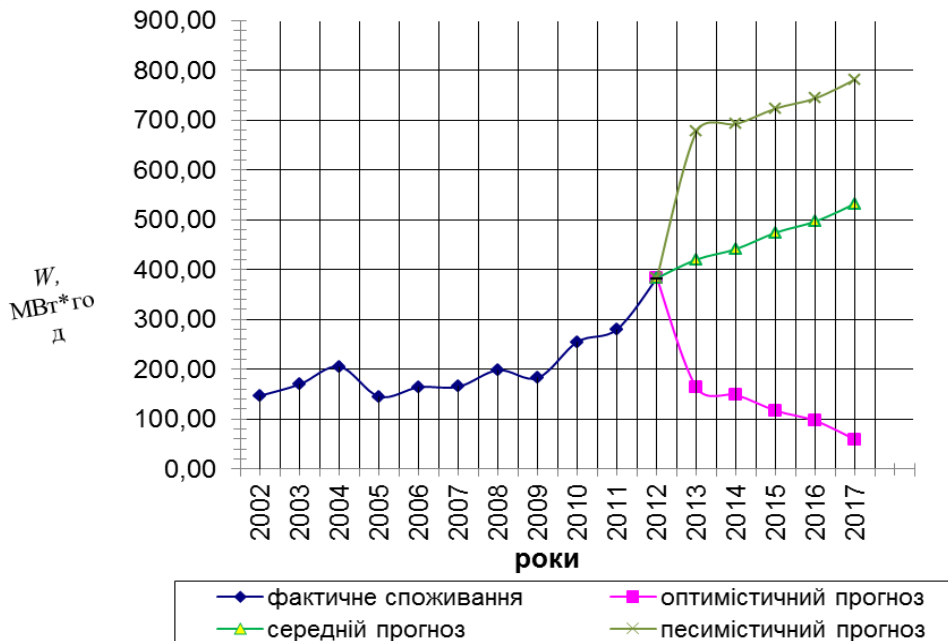


Рисунок 5 – Результати прогнозування споживання електричної енергії світлосигнальним обладнанням аеропорту КП «МА «Київ» (Жуляни)

Запропоновано підвищення енергоефективності електротехнічних комплексів аеропорту шляхом моделювання діяльності служби енергоменеджменту. Для цього використані методи теорії нечітких множин формалізації підтримки прийняття управлінських рішень в організаційних системах.

У четвертому розділі «Розробка та впровадження систем управління споживанням електричної енергії аеропортом» розроблено алгоритми нормування та прогнозування, методи синтезу автоматизованої системи управління ефективним споживанням електричної енергії аеропортами, які на відміну від існуючих методів, використовують кібернетичні принципи побудови оптимальної структури управління, що дозволить управляти обсягами споживання електричної енергії за рахунок комплексу енергозберігаючих заходів.

Структура витрат електроенергії в авіапідприємствах визначається за виразом:

$$W_{\text{заг}} = W_{\text{техн}} + W_{\text{доп. сл.}} + W_{\text{обсл. р.}},$$

де  $W_{\text{техн}}$  – витрата на виконання головного технологічного процесу – авіап перевезення (витрати на освітлення та електричне обладнання аеровокзальних комплексів, вантажних терміналів, на роботу систем радіонавігації тощо);  $W_{\text{доп. сл}}$  – витрата електроенергії допоміжними службами підприємства (аеродромною, інженерно – авіаційною, ССТ та ін.),  $W_{\text{обсл. р.}}$  – витрата електричної енергії на обслуговування рейсів (зліт–посадка).

Згідно положень Міжнародного стандарту ISO 50001:2011. Системи енергетичного менеджменту, розроблено системну модель автоматизованої системи управління ефективним споживанням електричної енергії аеропортами. Запропоновано метод оптимізації служби електротехнічного забезпечення, який на відміну від існуючих методів параметричної оптимізації, використовує структурну оптимізацію системного підходу на основі створення служби енергетичного менеджменту, що дозволить значно зменшити обсяги споживання електричної енергії аеропортами. Основним завданням служби є управління ефективним споживанням електричної енергії. Суттєвим етапом реалізації моделі є впровадження механізмів нормування питомих витрат електричної енергії аеропортів. Результатом реалізації системної моделі є розробка комплексу практичних рекомендацій управлінням споживання електричної енергії аеропорту, представлені отримані показники енергоефективності, визначені відповідальні служби та їх повноваження щодо управління споживанням електричної енергії. Інформаційним центром управління ефективним споживанням електричної енергії аеропортами є служба енергетичного менеджменту.

На основі розроблених алгоритмів було отримано прогностні значення обсягу споживання електричної енергії на період до 2017 року та обчислені питомі величини основних видів діяльності аеропорту (табл. 3).

Таблиця 3

**Результати апробації системної моделі управління ефективним споживанням електричної енергії аеропорту КП «МА «Київ» (Жуляни)**

<b>Отримані значення</b>	<b>2014 рік</b>	<b>2015 рік</b>	<b>2016 рік</b>	<b>2017 рік</b>
W аеровокзальним комплексом, МВт·год	867,2	919,8	963,6	1007,4
W світлотехнічним обладнанням, МВт·год	441,67	474,58	497,19	532,6
W аеропортом, МВт·год	3739,63	3983,9	4173,7	4400
Кількість рейсів, од.	30880	34590	37700	41850
Кількість пасажирів, пас.	1544000	2075400	2450500	2803950
<b>Значення питомих витрат електричної енергії на види діяльності аеропорту</b>				
Обслуговування 1рейсу, кВт·год/рейс	121,1	115,2	110,7	105,1
Обслуговування 1пас., кВт·год/1 пас.	2,42	1,9	1,7	1,6

Запропоновано практичні рекомендації щодо ефективного споживання електричної енергії споживачами наземного комплексу аеропорту.

Згідно з результатами системної моделі управління ефективним споживання електричної енергії аеропортами, можна зробити висновок про підвищення ефективності споживання електричної енергії на 1 пасажирів та на 1 рейс, внаслідок впровадження відповідного управління.

### ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі на основі системного комплексного підходу та отриманих статистичних даних вирішено актуальну науково-прикладну задачу вдосконалення, розробки заходів та засобів ефективності споживання



електроенергії електротехнічними комплексами аеропортів. Проведені наукові дослідження дозволили отримати наступні основні результати та висновки.

1. Аналіз стану ефективності споживання електричної енергії електротехнічними комплексами аеропортів вказав на відсутність чіткої діючої системи моніторингу його функціонування, тому використаний у роботі системний підхід щодо визначення ефективності споживання електричної енергії аеропортами дозволив отримати показники ефективності для оптимізації споживання витрат електричної енергії електротехнічними комплексами аеропортів.

2. Вперше розроблена модель «безконтактний синхронний генератор з накопичувачем кінетичної енергії з зовнішнім ротором – тиристорний регулятор напруги» для споживачів електричної енергії першої категорії та особливої групи першої категорії, що дозволило мінімізувати перерву електропостачання при відмові основного джерела. Визначення параметрів елементів такої системи дозволило зменшити час перехідного процесу та забезпечити мінімальну статичну похибку при впливі навантаження на систему регулювання.

3. Вдосконалено методичні засади оцінювання рівня ефективності електроспоживання електротехнічними комплексами аеропорту введенням класифікації аеропортів за критеріями електроспоживання методом кластерного аналізу, що дозволило підвищити рівень ефективності прогнозування обсягу споживання електричної енергії.

4. Для моніторингу ефективності споживання електричної енергії електротехнічними комплексами аеропорту запропоновано методику визначення еталонного аеропорту однорідних кластерів за критеріями електроспоживання з використанням таксонометричного методу, що дозволило визначити зони електротехнічних комплексів для першочергового впровадження енергозберігаючих заходів шляхом порівняння обсягів споживання електричної енергії характерних технологічних об'єктів аеропортів.

5. Вперше розроблена та апробована математична модель прогнозування обсягу споживання електричної енергії електротехнічними комплексами аеропорту першої особливої категорії (із врахуванням специфіки їх обладнання), що дозволило отримати дані можливих меж витрат електричної енергії на майбутній період.

6. Розроблена системна модель управління ефективним споживанням електричної енергії електротехнічними комплексами аеропорту дозволяє забезпечити ефективну реалізацію політики енергозбереження аеропорту при встановленні інформаційних та управлінських зв'язків між службою енергоменеджменту та підрозділами аеропорту.

7. Запропоновано комплекс практичних рекомендацій щодо підвищення ефективності споживання електричної енергії електротехнічними комплексами аеропорту на основі системної моделі управління ефективним споживанням електричної енергії аеропортами.

8. Достовірність та практичну цінність результатів, одержаних в роботі, підтверджено шляхом натурно-обчислювального експерименту з використанням побудованих прогнозних моделей електроспоживання, а також розроблених програмних засобів. Результати дослідження впроваджено у КП МА «Київ (Жуляни)».

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Козлов В. Д. Аналіз стану та перспективи розвитку політики енергозбереження в цивільній авіації [Текст] / В. Д. Козлов, Н. П. Соколова // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. – 2008. – Вип. 21. – С. 131–141. – ISSN 2409-9392.
2. Розен В. П. Методичні питання енергетичної безпеки аеропортів України [Текст] / В. П. Розен, Н. П. Соколова, О. Є. Прокопенко // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2011. – № 2(84). – С. 18–25. – ISSN 2218-1849.
3. Соколова Н. П. Розроблення нового підходу щодо нормування питомих витрат електричної енергії аеропортів [Текст] / Н. П. Соколова // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. – 2011. – №7. – С. 151–157. – ISSN 978-617-672-040-9.
4. Соколова Н. П. Моделювання та програмне забезпечення прогнозування споживання електричної енергії об'єктами аеропорту [Текст] / Н. П. Соколова // Восточно – европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 2/8 (68). – С. 8–12. – ISSN 1729-3774.
5. Лещинський О. Л. Модель прогнозування обсягу споживання електричної енергії світлосигнального обладнання аеропорту [Текст] / О. Л. Лещинський В. С. Коновалюк, Н. П. Соколова // Технологический аудит и резервы производства. – 2014. – № 2/1 (16). – С. 27–31. – ISSN 2226–3780.
6. Захарченко В. П. Модель управління ефективністю споживання обсягу електричної енергії аеропортами [Текст] / В. П. Захарченко, Н. П. Соколова // Восточно–европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 5/8 (71). – С. 8–12. – ISSN 1729-3774.
7. Лещинський О. Л. Теоретичні аспекти побудови моделі експерта як нечіткого регулятора системи управління обсягом споживання електричної енергії аеропортами [Текст] / О. Л. Лещинський, Д. О. Бугайко, Н. П. Соколова // Проблеми інформатизації та управління. Збірник наукових праць: – К. : НАУ, 2015. – Вип. 1(49). – С. 51–57. – ISSN 2073–4751.
8. Асланян А. Е. Управління споживанням електричної енергії аеропортів [Текст] / А. Е. Асланян, В. П. Захарченко, Н. П. Соколова // Вісник ХПІ. – 2014. – № 40 (1083). – С. 45–50. – ISSN 2079–0031.
9. Розен В. П. Методика класифікації аеропортів за чинниками впливу електроспоживання [Текст] / В. П. Розен, В. Д. Козлов, Н. П. Соколова, О. А. Табунець // Промелектро. – 2010. – № 2. – С. 33–37. – ISSN 2409-2924.
10. Козлов В. Д. Нормування споживання енергоносіїв як фактор енергозбереження в авіаційній галузі [Текст] / В. Д. Козлов, Н. П. Соколова // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2008. – Том 13, № 4. – С. 110–114. – ISSN 1727-7108.
11. Соколова Н. П. Аналіз споживання електричної енергії крупними аеропортами України [Текст] / Н. П. Соколова // Энергосбережение на транспорте и в промышленности: инновационные решения: третья междунар. научно-практическая конференция, (Одесса, 9–10 июня 2008). – Одеса: Оберіг, 2008. – С. 74–78.

12. Розен В. П. Система аналізування факторів впливу на ефективність процесу нормування питомих витрат енергетичних ресурсів для аеропортів [Текст] / В. П. Розен, Н. П. Соколова // Энергетическая безопасность на транспорте: технологии и инвестиции. Четвертая межнар. научно-практическая конференция, 10–12 июня 2009 г. – Одеса: Оберіг, 2009. – С. 142–148.

13. Розен В. П. Моделювання факторів впливу щодо ефективного процесу системи нормування питомих витрат енергетичних ресурсів для аеропортів [Текст] / В. П. Розен, Н. П. Соколова // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Проблеми моделювання та автоматизації проектування динамічних систем» (МАП–2009). – 2009. – Вип. 7(150). – С. 275–283.

14. Козлов В. Д. Енергозберігаючі заходи для світлосигнальних систем аеропортів [Текст] / В. Д. Козлов, Н. П. Соколова, Т. С. Козлова // АВІА–2009: IX міжнар. наук. –техн. конф., 21-23 вересня 2009р.: матеріали конф. – К., 2009. – Т.2. – С. 16.55–16.58.

15. Соколова Н. П. Прогнозування споживання електричної енергії аеропортами [Текст] / Н. П. Соколова // Енергетична безпека та енергоменеджмент: підвищення енергоефективності на транспорті. П'ята міжнародна науково – практична конференція, 2–4 червня 2010р. – Одеса : Оберіг, 2010. – С. 127–130.

16. Kozlov V. Determination possibilities to use the alternative energy in airports [Text] / V. Kozlov, N. Sokolova, O. Shyrgaj, M. Tsybko// The fourth world congress “Aviation in the XXI-st century”, “Safety in aviation and space technology”, 21-23 September 2010. – К., 2010. – Vol. 1. – P. 16.56–16.59.

17. Розен В. П. Анализ стандартов в области энергетического менеджмента в Украине и за рубежом [Текст] / В. П. Розен, А. В. Чернявский, Н. П. Соколова // Енергетична безпека та енергоменеджмент: підвищення енергоефективності на транспорті: Шоста міжн. наук. – практ. конференція, 1–2 липня 2011р. – Одеса : Оберіг, 2011. – С. 121–126.

18. Козлов В. Д. Нормування паливо – енергетичних ресурсів в цивільній авіації України [Текст] / В. Д. Козлов, Н. П. Соколова, Г. Л. Хребто // ПОЛІТ–2008: VIII міжнар. наук. – практ. конф. студентів та молодих вчених, 10–11 квітня 2008 р. : тези доп. – К., 2008. – С. 14.

19. A. Aslanyan. The organizational structure of airport electrical energy consumption efficiency management [Text] / A. Aslanyan, V. Zakharchenko, N. Sokolova T// The sixth world congress "Aviation in the XXI-st century" “Safety in Aviation and Space Technologies” September 23–25, 2014. – P. 1.4.54–1.4.56

20. Захарченко В. П. Управління ефективністю споживання електричної енергії аеропортами [Текст] / В. П. Захарченко, Н. П. Соколова // Восьма науково-практична конференція «Енергетична безпека на транспорті: підвищення енергоефективності, зниження залежності від природного газу» 09–10 жовтня 2014 р., м. Київ. – С. 123–126.

21. Пат. № 94252 Україна, МПК НО2К 16/00. Аварійний генераторний агрегат / В. В. Тихонов, Н. П. Соколова; заявник і патентовласник Національний авіаційний університет. – № 94252; заявл. 16.04.2014.; опубл. 10.11.2014.; Бюл. № 21.

**АНОТАЦІЯ**

**Соколова Н. П. Підвищення енергоефективності електротехнічних комплексів аеропортів. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи. – Вінницький національний технічний університет МОН України, Вінниця, 2016.

Дисертацію присвячено вдосконаленню та розробці заходів та засобів ефективності споживання електроенергії електротехнічними комплексами аеропортів на основі аналізу статистичних даних, щодо енергоспоживання, з використанням системного комплексного підходу, опираючись на кібернетичні принципи до створення автоматизованої системи управління.

Вдосконалено систему електропостачання електротехнічним комплексам аеропорту першої особливої категорії (світлосигнальна система посадки повітряних суден (ПС)) «дизель-генератор (безконтактний синхронний генератор) з накопичувачем кінетичної енергії з зовнішнім ротором та тиристорний регулятор напруги». Впровадження дизель-генератору з накопичувачем кінетичної енергії з зовнішнім ротором, що дозволить безперебійно та миттєво підключитись до системи при відмові основного джерела. Визначення параметрів елементів системи «безконтактний синхронний генератор – тиристорний регулятор напруги» дозволить зменшити час перехідного процесу та забезпечити мінімальну статичну похибку при впливі навантаження на систему регулювання.

Розроблено системну модель управління ефективністю споживання електричної енергії аеропортами та комплекс практичних рекомендацій управління споживання електричної енергії, базуючись на отриманих даних методик нормування та прогнозування.

**Ключові слова:** комплексний підхід, питомі витрати електричної енергії, прогнозування, автоматизація електротехнічних комплексів, засоби та заходи управління ефективним споживанням електроенергії.

**ABSTRACT**

**Sokolova N. P. Improving the energy efficiency of electrical systems of airports. – Manuscript.**

Dissertation in manuscript for scientific degree of the candidate of technical sciences on specialty 05.09.03 – Electrotechnical Complexes and Systems (Technical Sciences). – Vinnytsia National Technical University MES of Ukraine, Vinnytsia, 2016.

The thesis is devoted to the improvement and development of methods and models of effective management of electricity consumption Electrical complexes of airports based on analysis of statistics on energy consumption, using integrated system approach, based on cybernetic principles to create an automated control system.

Improved, from the standpoint of reliability, electrical power supply system of the first airport complex special category (Light aircraft landing system) "diesel generator (contactless synchronous generator) with a kinetic energy storage with external rotor and thyristor voltage regulator." Introduction of diesel generators with kinetic energy storage with external rotor, allowing smoothly and instantly connect to

the system in case of failure of the main source. Determination parameters of the system "contactless synchronous generator-thyristor voltage regulator" will reduce the transition process and ensure minimal impact static error of system load regulation.

Developed performance management system model of electricity consumption airports and a set of practical recommendations of electricity consumption based on data obtained valuation methodologies and forecasting.

**Keywords:** comprehensive approach, unit costs of power energy, customs, automation electrical systems, methods and models for efficient power consumption management, automatic control and regulation,

## АННОТАЦИЯ

**Соколова Н. П. Повышение энергоэффективности электротехнических комплексов аэропортов.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – электротехнические комплексы и системы. – Винницкий национальный технический университет МОН Украины, Винница, 2016.

Диссертация посвящена совершенствованию и разработке средств и мероприятий эффективности потребления электроэнергии электротехническими комплексами аэропортов на основе анализа статистических данных.

Проведенный анализ статистических данных высветил массу недостатков: отсутствие современных норм, некачественное прогнозирование потребления электроэнергии.

Важным фактором эффективного функционирования аэропорта является надежность его систем электроснабжения для электротехнических комплексов, особенно это касается потребителей особой группы первой категории, перерыв электроснабжения, которых может вызвать нарушение функционирования особо важных элементов аэропорта, а при неблагоприятном стечении обстоятельств является причиной летного происшествия и даже катастрофы.

В работе усовершенствовано систему электроснабжения электротехнических комплексов аэропорта особой группы первой категории «бесконтактный синхронный генератор с накопителем кинетической энергии с внешним ротором – тиристорный регулятор напряжения». Внедрение такой системы позволит бесперебойно и мгновенно подключиться к системе при отказе основного источника.

Для мониторинга эффективности потребления электрической энергии электротехническими комплексами аэропорта предложена методика определения эталонного аэропорта для однородных кластеров с использованием таксонометрического метода. Такой подход позволит определить зоны электротехнических комплексов для первоочередного внедрения энергосберегающих мероприятий путем сравнения объемов потребления электрической энергии характерных технологических объектов аэропортов.

Впервые разработана и апробирована математическая модель прогнозирования объема потребления электрической энергии электротехническими комплексами аэропорта особой группы первой категории (с учетом

специфики их оборудования). Факторами влияния на объемы потребления является количество рейсов, коэффициент качества светосигнального оборудования, коэффициент режима применения светосигнального оборудования. Результаты прогнозирования объема потребления электрической энергии позволят: определить границы допустимых интервалов объема потребления; получить прогноз наиболее вероятного потребления электрической энергии на различные периоды (точечный прогноз); в оперативном режиме скорректировать значение влияющих факторов, а также сформулировать предложения по изменению аэропортовых сборов, в которых учитываются расходы на использование светосигнального оборудования.

Разработана системная модель управления эффективностью потребления электрической энергии аэропортами и комплекс практических рекомендаций управлением потребления электрической энергии, основываясь на полученных данных методик нормирования и прогнозирования.

Предложено организацию в аэропортах обособленной службы энергоменеджмента (СЭМ), непосредственно подчиненной техническому директору аэропорта. Внедрение СЭМ направлено на обеспечение эффективной разработки и реализации политики энергосбережения аэропорта с соблюдением внедрение новых энергосберегающих технологий, подготовки кадров по вопросам энергоэффективности и соблюдение правил безопасности авиации.

В предложенной системной модели, выявлены и установлены информационные и управленческие связи между службой энергоменеджмента и подразделениями аэропорта.

На основе разработанных алгоритмов получены прогнозные значения объемов потребления электрической энергии на период до 2017 года.

На основе полученных прогнозных значений построены соответствующие графики, было достигнуто повышение эффективности потребления электрической энергии на 1 пассажира и на 1 рейс, в результате проведения соответствующего управления.

**Ключевые слова:** комплексный подход, удельные расходы электрической энергии, прогнозирование, автоматизация электротехнических комплексов, мероприятия и средства управления эффективным потреблением электроэнергии.

**Підп. до друку 10.10.2016. Формат 60x84/16. Папір офс.  
Офс. друк. Ум. друк. арк. 1,16. Обл.-вид. арк. 1,25.  
Тираж 100 пр. Замовлення № 143-1.**

**Видавець і виготівник  
Національний авіаційний університет  
03680. Київ -58, проспект Космонавта Комарова, 1**

**Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 977 від 05.07.2002**